

Die Fähigkeiten des Menschen nutzen: Unterstützte subjektive akustische Prüfung

Dipl. Ing. (FH) S. Götz
Dr. rer. nat. K. Heldmann
RTE Akustik + Prüftechnik GmbH, 76327 Pfinztal

1 Einleitung

Die Fähigkeit des Menschen gezielt Geräusche zu beurteilen ist für ihn seit je her lebensnotwendig. Der Mensch besitzt mit dem Gehör ein sehr empfindliches Sinnesorgan, dessen Erfassungsbereich (Pegel) sich über sieben Zehnerpotenzen erstreckt. Diese spezielle Fähigkeit läßt sich hervorragend für die akustische Prüfung nutzen.

Durch immer wiederkehrende Geräuschbeurteilungen und den daraus entstehenden Gewöhnungseffekten, durch Störungen aus dem Fertigungsumfeld, durch individuelle Beurteilungsunterschiede zwischen verschiedenen Prüfern sowie unzureichender Dokumentation hat diese Prüfung aber auch seine Schwächen.

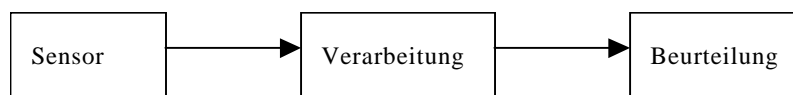
Diese Nachteile können gezielt durch den Einsatz der *Unterstützten subjektiven akustischen Prüfung* (USAP) kompensiert werden: der Prüfer wird in seiner Entscheidungsfindung optimal unterstützt.

Das Prinzip der *Unterstützten subjektiven akustischen Prüfung*, der Vergleich zu anderen akustischen Prüfverfahren mit seinen Vor- und Nachteilen sowie die Umsetzung in der Praxis werden im folgenden aufgezeigt.

2 Das Prinzip der unterstützten subjektiven Schallbeurteilung

Grundsätzlich wird für jede Art von Prüfung und Bewertung ein geeigneter Aufnehmer benötigt, der die zu beurteilende Größe erfassen kann. Die von diesem Aufnehmer, dem Sensor, gelieferten Informationen werden anschließend so aufbereitet, daß sie im nächsten Schritt mit vorgegebenen Größen verglichen und beurteilt werden können.

allgemeine Prüfung:



subjektive Prüfung:

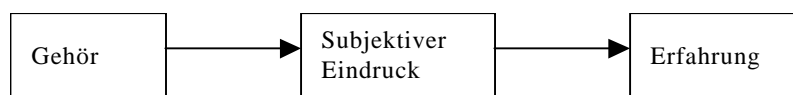


Bild 1: Schematische Darstellung einer Prüfung

Bei der subjektiven Prüfung und Schallbeurteilung steht der Mensch mit seinen individuellen Fähigkeiten im Mittelpunkt.

Jeder Verarbeitungsschritt unterliegt dabei physischen und psychischen Einflußfaktoren, die zum einen vom Prüfer selbst, zum anderen von der Umgebung abhängig sind. In der Psychoakustik wird versucht, diese Abhängigkeiten zu beschreiben. Als maßgebliche psychoakustische Faktoren für die Schallbeurteilung gelten der Schallpegel, die Einwirkungsdauer, spektrale Zusammensetzung, zeitliche Struktur, die Anzahl und Verteilung der Geräuschquellen und die subjektive Einstellung. Psychoakustische Einflüsse spielen besonders beim Geräuschdesign von Produkten eine wichtige Rolle.

Mit der unterstützten subjektiven akustischen Prüfung soll nun erreicht werden, daß der subjektive Geräuscheindruck für jeden Prüfer möglichst gleichbleibend und reproduzierbar ist. Ebenso soll gewährleistet werden, daß alle Prüfer eine gemeinsame und identische Wissensbasis für eine sichere Beurteilung besitzen.

Reproduzierbarkeit:

- zu beurteilendes Geräusch von Störgeräuschen entkoppeln durch Schallisolierung
- Schallaufnahme durch ein Mikrophon an einer definierten Position
- Konstante Verhältnisse des Prüfobjekts (z. B. durch Regelung)
- Signalaufbereitung durch Verstärkung und Filterung (je nach Anwendungsfall)

Einheitliche Wissensbasis:

- Hinterlegung und zur Verfügungstellung von Vergleichsgeräuschmustern
- Beurteilung durch A/B-Vergleich zwischen zu beurteilendem Geräusch und verschiedenen Geräuschgrenzmustern

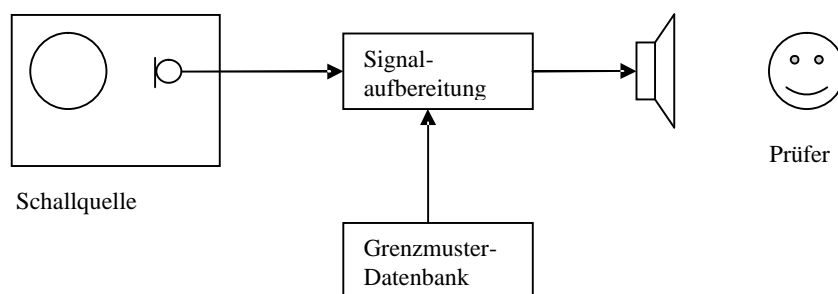


Bild 2: Prinzip der unterstützten subjektiven akustischen Prüfung

3 Vorteile der unterstützten subjektiven akustischen Prüfung

Im Vergleich zur nicht unterstützten subjektiven Prüfung bietet die unterstützte subjektive akustische Prüfung deutliche Vorteile:

- Reproduzierbarkeit:
Hohe Reproduzierbarkeit durch definierte Schallaufnahme und gleichbleibender Qualität der Geräuschemuster.
Einflüsse auf die Originalgeräuschemuster wie Einlaufverhalten und Verschleiß werden ausgeschlossen.
- Beurteilung:
Sichere Urteilsfindung durch direkten A/B-Vergleich zwischen unterschiedlichen Geräuschgrenzmustern.
- Archivierung:
Geräuschemuster liegen in digitaler Form vor: Aufbau einer Geräuschdatenbank.
- Flexibilität:
Einfache Austauschbarkeit der Geräuschemuster zwischen mehreren Prüflinien und dem Kunden.
Einfache Umstellung und Erweiterung auf andere Prüftypen.
- Logistik:
Aufwendige Lagerhaltung und Bereitstellung von Musterprüflingen wird minimiert.
- Dokumentation:
Dokumentation und Rückverfolgbarkeit des Beurteilungsergebnisses und Geräusches.

4 Vergleich zur objektiven Schallbeurteilung

Die subjektive Schallbeurteilung hat gegenüber der objektiven folgende Vor- und Nachteile:

| Schallbeurteilung | | |
|--------------------------|--|--|
| | Subjektiv | Objektiv bzw. meßtechnisch |
| | Wahrnehmung und Beurteilung (aufgrund Erfahrung) durch den Menschen Hörempfinden physische und psychische Einflußfaktoren | Signalerfassung, -verarbeitung und Klassifikation (nach Einlernphase) durch Rechner / Maschine Meßgrößen, berechnete Merkmale technische Einflußfaktoren |
| Vorteile | <ul style="list-style-type: none"> • Erkennen komplexer Geräusche • Lernen neuer Geräusche • Meist geringerer Aufwand als vergleichbare objektive Prüfung | <ul style="list-style-type: none"> • Reproduzierbarkeit • Dokumentierbarkeit • Automatisierbarkeit • Standardisierbarkeit • Bekannter Beurteilungsmaßstab |

| | | |
|------------------|---|--|
| Nachteile | <ul style="list-style-type: none"> • keine Absolutbewertung • Reproduzierbarkeit 85% • Aussagesicherheit 85% • keine Automatisierung • individueller Beurteilungsmaßstab | <ul style="list-style-type: none"> • Aufwand bei kleinen Losgrößen • identische Prüfbedingungen zwingend |
|------------------|---|--|

5 Grenzen

Die subjektive Prüfung von Geräuschen hat jedoch auch seine Grenzen, die im Prüfprinzip begründet sind.

- Subjektivität:
Selbst durch die beste Unterstützung der Prüfer ist keine vollständige Übereinstimmung in der Klassifikation erreichbar. Kleinste Abweichungen können unterschiedliche Bewertungen auslösen. Sichere Aussagen lassen sich nur ab einer bestimmten Abweichung treffen.
- Gehörphysiologische Beschränkung:
- Frequenzbereich von ca. 20 Hz bis 20 kHz
- Hörempfindlichkeit ist pegel- und frequenzabhängig
- Auflösung und Trennschärfe:
Durch die in der Psychoakustik beschriebenen Effekte können nicht alle Informationen eines Geräusches wahrgenommen werden. Hierzu zählen z. B. spektrale und zeitliche Verdeckungseffekte, d. h. laute Geräusche (Frequenzen) verdecken leisere Schalle (Mithörschwelle).

6 Anwendungsfelder

Mit der Kenntnis der Vor- und Nachteile sowie der Grenzen der unterstützten subjektiven akustischen Prüfung lassen sich folgende Anwendungsfelder ableiten:

- Schnelle, flexible und kostengünstige Überprüfung auf Produktfehler und Sicherung einer geforderten Geräuschqualität besonders bei kleinen Losgrößen.
- Vorsortierung von Prüflingen. Verdächtige Prüflinge werden aussortiert und einer objektiven Geräuschprüfung zugeführt. Dadurch Erhöhung des Durchsatzes und Kosteneinsparung durch wenige, meist teurer objektiver Prüfanlagen.
- Wird ein bestimmter Geräuschkomfort für ein Produkt gefordert (Geräuschdesign), läßt sich dies fast ausschließlich nur mit einer subjektiven Geräuschprüfung überprüfen.
- Die subjektive Prüfung ist besonders für stetige Geräusche mit einer gewissen Dauer geeignet. Kurze und impulsartige Geräusche sind dagegen schwieriger beurteilbar.

7 Anwendungsbeispiel aus der Praxis

In einem Unternehmen werden Gleichstrommotoren in unterschiedlichen Baureihen gefertigt, die in der Automobilindustrie als Lüftermotoren eingesetzt werden. Gefordert wird ein ruhiges und gleichmäßiges Laufgeräusch. Störgeräusche können dabei z. B. durch Unwucht, Bürstenfeuer am Kollektor oder Wicklungsfehler verursacht werden.

Die fertiggestellten Elektromotoren wurden bisher in einer Geräuschkabine subjektiv von einem Prüfer beurteilt und anschließend mit einem Prüfstempel versehen. Die Schwierigkeit für den Prüfer bestand nun darin, daß ein langsames Abweichen des Geräusches nicht oder erst viel später erkannt wird, da eine kontinuierliche „Nachjustierung“ des Gehörs nicht erfolgt. Das selbe Problem tritt auch nach längeren Prüfpausen auf. Ebenfalls ist der Gewöhnungseffekt nach längerer Prüfzeit nicht zu unterschätzen.

Eine weitere Schwierigkeit ist die direkte Vergleichbarkeit der Motoren zueinander. Beim Anlegen der gleichen Prüfspannung weisen die Motoren unterschiedliche Drehzahlen auf. Drehzahlabhängige Geräusche werden dadurch verändert und lassen sich nur bedingt vergleichen.

Zusätzlich erschwert wird die gleichbleibende Beurteilungsfähigkeit des Prüfers durch das Prüfen von unterschiedlichen Baureihen.

Um den Prüfer für seine Aufgabe optimal zu unterstützen und für das Unternehmen eine bessere Beurteilungsgrundlage zu schaffen, wurde die unterstützte subjektive Prüfung in die Fertigung integriert.

Realisierung:

- mit der Hand bestückbare schallisolierte Prüfkammer
- Prüflingsaufnahme mit automatischer Kontaktierung
- parametrierbare Drehzahlregelung und Überwachung
- einfache Bedienbarkeit durch Folientastatur am Bildschirm
- individuelle Lautstärkeeinstellung
- Verwaltung und Parametrierung unterschiedlicher Prüftypen
- frei parametrierbare Geräuschzuordnung
- typbezogene Geräuschdatenbank
- flexible, programmgesteuerte und nachrüstbare (z. B. Filter) Signalaufbereitung
- Hard- und Software unterstützte Diagnosemöglichkeiten



Bild 3: Anwendungsbeispiel einer unterstützten subjektiven akustischen Prüfung von Elektromotoren